

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

Apparatus and process for the separation of particles of different density with magnetic fluids

Patent Number: US4062765
Publication date: 1977-12-13
Inventor(s): FAY HOMER; QUETS JEAN MARIE; HATWELL HENRI
Applicant(s): UNION CARBIDE CORP
Requested Patent: FR2336980
Application Number: US19750645016 19751229
Priority Number(s): US19750645016 19751229
IPC Classification: B03B5/30
EC Classification: B03B5/28, B03B5/44, B03C1/32
Equivalents: AU2093376, CA1074261, DE2659254, JP52084569, NL7614501,
ZA7606958

Abstract

Separation of a mixture of non-magnetic particles on the basis of their different densities is accomplished by levitation in a magnetic fluid using a multiplicity of magnetic gaps created by a grid of magnetic poles oriented with respect to each other such that the polarity of the magnetic field generated in each gap is opposite to that of each adjacent gap.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

⑪ N° de publication :

2 336 980

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

⑫

N° 76 39318

⑤④ Procédé et appareil de séparation de particules en fonction de leur poids spécifique.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.²). B 03 C 1/00.

②② Date de dépôt 28 décembre 1976, à 15 h 48 mn.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le 29 décembre 1975, n. 645.016 aux noms de Homer Fay, Jean M. Quets et Henri Hatwell.*

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 30 du 29-7-1977.

⑦① Déposant : Société dite : UNION CARBIDE CORPORATION, résidant aux Etats-Unis
d'Amérique.

⑦② Invention de :

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Simonnot, Rinuy, Santarelli.

La séparation des mélanges de particules en fonction de leur poids spécifique, par lévitation magnétique a été proposée plus récemment à l'aide d'un fluide magnétique comprenant une suspension colloïdale stable de particules superparamagnétiques dans un liquide tel que le kérosène, le xylène, une huile de silicone, un fluide fluorocarboné, un ester organique ou de l'eau. Le brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 3 483 969 décrit un procédé de ce type. Les matières superparamagnétiques sont très aimantables dans un champ magnétique mais elles ne conservent pas ces propriétés magnétiques après la suppression du champ. Leur courbe d'aimantation ne comporte donc pas de boucle d'hystérésis. Les substances superparamagnétiques les plus courantes sont le fer, l'oxyde de fer Fe_3O_4 (magnétite), le cobalt et le nickel, chacune sous forme finement divisée. En outre, certains composés des terres rares, certains alliages de platine et de rhénium ainsi que des solutions aqueuses de sels de manganèse ont aussi déjà été utilisés pour la formation de fluides magnétiques. Parmi toutes ces matières, le fer est celle qui possède de loin la susceptibilité magnétique la plus élevée.

On a déjà décrit divers procédés de séparation de matières de poids spécifiques différents par mise en oeuvre de la différence des forces de lévitation appliquées dans les fluides superparamagnétiques. Les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 3 483 969 précité, 3 488 531, 3 483 968 et 3 788 465 décrivent des procédés et appareils concernant la séparation des particules selon ces procédés. Dans tous ces brevets cependant, le fluide magnétique est maintenu dans un entrefer d'un aimant relativement gros et les particules à séparer doivent obligatoirement s'écouler dans cet entrefer aimanté unique. La dimension de l'entrefer unique est évidemment limitée par la dimension de l'aimant. Actuellement, l'appareil le plus grand construit pour la séparation des particules est décrit dans le rapport de la NASA n° CR-132318, 28 juin 1972. L'appareil a une zone de séparation de 203 mm de côté, un gradient magnétique de 2.10^6 A/m^2 et crée un poids spécifique apparent de 8 g/cm^3 . L'aimant utilisé dans l'appareil consomme 10 kW pour une densité apparente de 8, et comporte une culasse en C, des pôles hyperboliques de 53 x 41 x 41 cm, contenant

ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1A est une vue en plan d'une grille magnétique convenant à la séparation de particules de poids spécifiques différents, à l'aide d'un dispositif analogue à un filtre ;

la figure 1B est une élévation latérale de la grille magnétique de la figure 1A ;

la figure 2 est une coupe de la grille de la figure 1A, associée à un réservoir de lévitation et un dispositif de transport de la séparation du rassemblement de particules de poids spécifiques différents ;

la figure 3 est une vue en plan d'un dispositif à grille formé par un conducteur électrique continu ;

la figure 4 représente la composante verticale du gradient du champ dans un fluide magnétique, dans un appareil à grille formée par des fils ;

la figure 5 représente le profil de la composante verticale d'un quadrant du gradient de champ formé dans un fluide magnétique par un organe à grille octogonale d'un appareil selon l'invention ; et

la figure 6 est un graphique représentant la variation du poids spécifique apparent créé dans un fluide magnétique, par un dispositif à grille magnétique.

On constate selon l'invention qu'on peut utiliser un phénomène observé lorsqu'une grille pratiquement plane, comprenant plusieurs entrefers magnétiques, est placée dans un fluide ferromagnétique ou très près d'un tel fluide. Plus précisément, les structures à grille magnétique utilisées sont des arrangements de pôles magnétiques et d'entrefers, délimitant chacun une région d'intensité de champ magnétique et de densité de flux magnétique suivant les lois de la magnétostatique. Contrairement aux structures à un seul entrefer de type connu dans lesquelles le fluide magnétique est confiné entre les pôles d'une seule paire et est influencé par cette seule paire, la grille magnétique utilisée selon l'invention et qui peut être entièrement entourée par le fluide magnétique, exerce plusieurs forces magnétiques sur le fluide. Ces forces coopèrent et sont complexes, si bien que ni l'intensité du champ ni le gradient

à la manière d'un séparateur à filtre lors de séparations locales binaires de particules en fonction de leur poids spécifique. Le montage en cascade ou l'empilement d'un certain nombre de grilles accordées sur des poids spécifiques différents permet l'obtention d'un certain nombre de fractions de poids spécifique, chaque grille assurant une séparation binaire locale.

Au point critique du système décrit précédemment ou au-delà, on note une même réduction de la composante verticale du gradient lorsque la hauteur augmente au-dessus de la grille que dans l'appareil classique de lévitation à une seule paire de pôles. Ainsi, une grille à entrefer multiple n'est pas utilisée uniquement comme un séparateur du type d'un filtre dans lequel les particules les plus denses sont séparées parce qu'elles tombent au-dessous de la transition entre les profils continus et discontinus, mais elle peut être aussi utilisée pour la séparation des particules de poids spécifiques différent totalement dans la zone des profils continus du champ magnétique. Une combinaison des deux types de processus de séparation est aussi facilement obtenue par utilisation de l'appareil à grille à entrefer multiple selon l'invention. Les possibilités de cette grille apparaissent cependant facilement d'après les effets de la dimension des particules à séparer sur les essais d'augmentation de capacité de l'appareil à grille magnétique, par rapport à des essais correspondant d'un appareil à un seul entrefer.

On a décrit l'invention en référence à une grille placée horizontalement. On constate cependant que la grille peut être inclinée dans certains cas de façon avantageuse car la force de gravité peut alors être utilisée pour le transport des particules au-dessus de la grille. Dans ce mode de réalisation, les forces qui agissent sur une particule non magnétique ont une résultante normale à la surface de la grille comme dans le cas de la grille placée horizontalement, mais les forces ne sont plus verticales. Elles constituent une barrière pour les particules de faible poids spécifique alors que celles de poids spécifique élevé peuvent tomber au-dessous du point critique. Les particules de faible poids spécifique ne sont pas

du gradient dépend de la dimension d'entrefer, de la configuration des pièces polaires et de la valeur du champ H. En général, le gradient maximal varie avec le rapport du champ central et de la longueur de l'entrefer H_0/L_g . Cependant, le champ central H_0 varie comme le rapport de la force magnétomotrice et de la longueur de l'entrefer mmf/L_g . En conséquence, le rapport magnétique F/V qui peut être créé dépend beaucoup de la longueur de l'entrefer de l'aimant. Lorsque cette longueur est grande, le gradient a difficilement une valeur élevée. Inversement, un petit entrefer permet la formation de valeurs très élevées de ∇H .

La description qui précède indique que, dans les séparateurs à un seul entrefer, le volume de séparation est limité par la dimension de l'aimant et par le gradient nécessaire, et comme $H \propto mmf/L \propto mmf/L^2$, la force magnétomotrice doit croître comme le carré de la longueur de l'entrefer afin que le gradient ∇H reste constant. Une distance maximale en pratique pour l'entrefer est d'environ 0,2 m. Ainsi, le volume de séparation de l'appareil à un seul entrefer ne peut pas être augmenté facilement et on ne peut obtenir une augmentation de capacité que par l'utilisation de plusieurs séparateurs, si bien que les coûts d'investissement sont importants. En outre, la distance que doivent parcourir les particules dans le champ magnétique est relativement grande, si bien que les temps de traitement sont très longs et la dimension minimale de particule qui peut être séparée est limitée dans une certaine mesure.

Au contraire, l'augmentation de capacité dans le cas d'un séparateur à plusieurs entrefers selon l'invention est facile. Comme les entrefers sont créés par des pôles magnétiques multiples séparés par des distances relativement faibles, la création du champ magnétique nécessaire est plus simple que dans un appareil à un seul grand entrefer, et la grille peut être prolongée pratiquement de façon illimitée latéralement et/ou longitudinalement par simple utilisation d'un plus grand nombre de pôles et agrandissement de la longueur de la grille. En outre, comme le point critique du champ est très près de la surface de la grille, il suffit d'une masse très peu épaisse de fluide magnétique sur la grille lors de la séparation. Cette

de réalisation avantageux, les grilles qui sont les sources de force magnétique comprennent plusieurs organes allongés qui créent une force magnétomotrice, trois au moins des organes adjacents les uns aux autres étant séparés et ayant leurs axes
5 longitudinaux sensiblement parallèles et dans un plan pratiquement commun, la polarité du champ magnétique fixée par l'organe médian des trois étant opposée à celle des deux autres organes adjacents, les trois organes étant suffisamment proches pour que le champ magnétique créé par l'organe médian coopère avec
10 celui des deux autres organes. La force magnétomotrice peut être créée par des aimants permanents, des électro-aimants ou des conducteurs qui transportent un courant électrique. On peut utiliser avantageusement le cas échéant plusieurs sources.

Les figures 1A et 1B représentent un mode de réalisation
15 tion dans lequel la force magnétique est créée par des aimants permanents. Les figures indiquent qu'une grille est formée à partir de neuf pôles en fer doux dont l'un porte la référence 10. Ces pôles transmettent leur force magnétomotrice produite par seize aimants de ferrite portant la référence 12 et qui
20 alternent avec les pôles et délimitent la largeur des espaces libres dans la partie centrale de la grille, comme indiqué par la référence a. Dans cette partie centrale a, les pôles sont octogonaux et ont une section réduite, leur diamètre étant de préférence de l'ordre de la distance séparant les pôles. La
25 section octogonale ou d'autres configurations générales circulaires ou elliptiques, évitant la présence de surfaces angulaires aiguës, sont avantageuses.

Sur la figure 2, on a représenté la grille de la figure 1A associée à un dispositif de séparation de particules
30 par lévitation magnétique et de rassemblement des fractions séparées. La grille 20 est inclinée dans un réservoir 21 qui contient un liquide magnétique dont la surface est indiquée par la référence 22. Un mélange de particules 23 pénètre dans le liquide magnétique par une glissière 24 au-dessus du point
35 critique du champ magnétique créé par la grille 20. Les particules de poids spécifique inférieur au poids spécifique apparent du fluide magnétique au point critique sont maintenues en suspension par le système et s'écoulent sous l'action de la gravité

figure 4 est un profil de la composante verticale du gradient pour cinq segments adjacents de fil de la grille de la figure 3. Le plan contenant les points critiques recoupe le plan du dessin à angle droit et passe par la ligne b-b. La nature continue des profils au-dessus des points critiques apparaît clairement sur le dessin.

La figure 5 représente une carte analogue des profils de la composante verticale du gradient créé par des pôles sous forme de prismes orthogonaux, du type représenté pour la grille de la figure 1B. Sur la figure 5, on a représenté un quadrant d'un pôle octogonal, au coin inférieur droit de la carte. Le point critique est noté sur la gauche de la carte. Les profils discontinus et continus au-dessus et au-dessous du point critique apparaissent aussi clairement.

Sur les figures 4 à 5, les valeurs indiquées sont en unités arbitraires.

Lors de la séparation d'objets solides dans des fluides magnétiques, la direction de déplacement de chaque objet dépend du poids spécifique par rapport au poids spécifique apparent P_a du fluide magnétique, à la suite de l'application du champ magnétique, le poids spécifique apparent dépendant de la composante verticale du gradient ∇H_2 . Au cours d'essais d'obtention d'un poids spécifique apparent pratiquement constant dans la zone de séparation des fluides magnétiques, on a recherché jusqu'à présent la réalisation d'un aimant qui crée dans des fluides magnétiques un champ ayant un gradient pratiquement constant sur une distance a aussi grande que possible, formant la zone de séparation. A cet égard, l'invention prend le contre-pied de cette caractéristique, c'est-à-dire qu'elle ne cherche nullement à créer dans le fluide de séparation un volume important ayant un gradient presque constant. Cette caractéristique apparaît clairement sur le profil de poids spécifique apparent de la figure 6. Bien que ce profil puisse être modifié dans une certaine mesure par utilisation de pièces polaires de configuration particulière dans les grilles selon l'invention, les caractéristiques générales de la courbe sont les mêmes pour toutes les grilles à plusieurs entrefers. Sur la figure 6, le poids spécifique apparent P_a est porté en fonction de la hauteur verti-

concerne le remplacement d'un solvant par un autre, et la demande de brevet des Etats-Unis d'Amérique n° 275 382, déposée par Reimers et Khalafalla, concernant la préparation par peptisation, concernant de tels fluides magnétiques. D'autres publications
5 concernant les propriétés des fluides magnétiques sont le rapport de la NASA n° CR-1407, 1969 de R. Kaiser et un article paru dans the Journal of Applied Physics 41, 1064 (1970) de R. Kaiser et G. Miskolczy.

Les fluides magnétiques utilisés selon l'invention
10 peuvent avoir une intensité d'aimantation comprise entre 10^{-4} et 0,1 tesla, mais des valeurs de 0,01 à 0,05 tesla sont avantageuses. Le gradient de champ magnétique peut atteindre $1,59 \cdot 10^9$ A/m², près d'un coin aigu d'un aimant ou d'un fil mince aimanté, mais une plage de $8 \cdot 10^5$ à $15 \cdot 10^5$ A/m² est avan-
15 tageuse.

Le mélange de particules qui est séparé en au moins deux constituants en fonction du poids spécifique selon le procédé de l'invention doit évidemment contenir des particules ayant deux poids spécifiques différents et de préférence, la
20 différence de poids spécifiques doit être d'au moins $1,0 \text{ g/cm}^3$. Cette différence est avantageusement d'au moins $3,0 \text{ g/cm}^3$.

La nature chimique des particules n'est pas un facteur primordial, pourvu évidemment que les particules ne réagissent pas chimiquement, en présence du champ magnétique
25 utilisé, dans les conditions de la séparation. Divers fluides magnétiques très inertes sont disponibles, et la sélection du fluide magnétique d'après la nature du mélange particulière permet la résolution de tout problème qui peut se poser.

Lors du traitement d'une matière brute par le procédé
30 de l'invention, de la manière la plus efficace, il est souhaitable dans certains cas que la matière première soit traitée préalablement d'une manière ou d'une autre. Par exemple, lorsque la matière première est humidifiée par de l'eau ou d'autres liquides qui ont tendance à perturber les propriétés du fluide
35 magnétique, le retrait de ces liquides est avisé. Suivant l'état initial, le concassage de la matière peut être souhaitable ou nécessaire sous une forme granulaire suffisamment petite pour que les phases de poids spécifiques différents soient libérées.

à raison de 6 g/min, par un dispositif 24 d'alimentation, sur une couche d'environ 1 cm d'un fluide magnétique de 2.10^{-2} T, recouvrant l'arrangement qui est immergé dans 5 cm environ de fluide. La matière époxyde qui flotte et qui ne peut pas tra-

5 verser le plan des points critiques de poids spécifique apparent du fluide, est rassemblée dans la trémie 25. Les particules métalliques plus lourdes tombent par les entrefers en quelques secondes. A la fin de l'opération, on recueille 80 g soit 22 % de fractions légères de matière plastique et 286 g soit 76 %

10 des granulés métalliques, et 9 g de matière soit 2 % sont perdus ou collent aux aimants permanents, car la matière peut être elle-même magnétique. En conséquence, une telle séparation est réalisée par attaque par un acide.

et un autre type de particules a un poids spécifique supérieur à ce poids spécifique apparent, les particules étant séparées car les plus denses descendent dans le fluide magnétique vers un point qui se trouve au-dessous du point critique alors que

5 les particules les moins denses restent en suspension dans le fluide magnétique, au-dessus du point critique.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les profils de force continue de la composante verticale du gradient sont finis et inférieurs au gradient total créé en direction verticale normale à la surface de la grille.

10 6. Appareil de séparation de particules en fonction de leur poids spécifique, caractérisé en ce qu'il comprend un fluide magnétique comportant une suspension colloïdale d'une matière superparamagnétique dans un liquide, un dispositif
15 destiné à créer dans le fluide magnétique un gradient ayant une composante verticale en direction opposée à celle de la pesanteur, la composante verticale ayant des points critiques au-dessous desquels les profils de force constante sont discontinus et au-dessus desquels ces profils sont continus, un dispositif
20 destiné à introduire dans le champ magnétique, un mélange d'au moins deux types de particules solides non magnétiques ayant des poids spécifiques qui diffèrent et qui sont supérieurs au poids spécifique réel du fluide magnétique, le niveau d'introduction du mélange de particules n'étant pas inférieur à celui
25 des points critiques dans le fluide, et un dispositif de séparation de certaines des particules séparées au moins.

7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que le dispositif destiné à créer un champ magnétique est une grille formée par des générateurs magnétiques comprenant plusieurs organes allongés appliquant une force magnétomotrice,
30 trois organes adjacents étant distants, ayant des axes longitudinaux parallèles et étant coplanaires, la polarité du champ magnétique créé par l'organe médian des trois étant opposée à celle des champs des deux autres organes adjacents, les trois
35 organes étant suffisamment proches pour que le champ magnétique créé par l'organe médian coopère avec ceux qui sont créés par les deux autres organes.

8. Appareil selon la revendication 7, caractérisé en

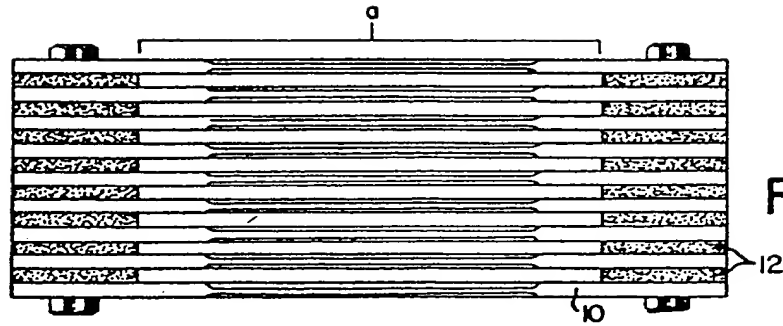


FIG. 1A

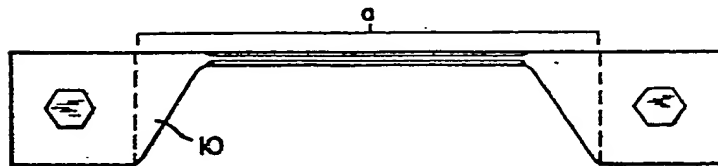


FIG. 1B

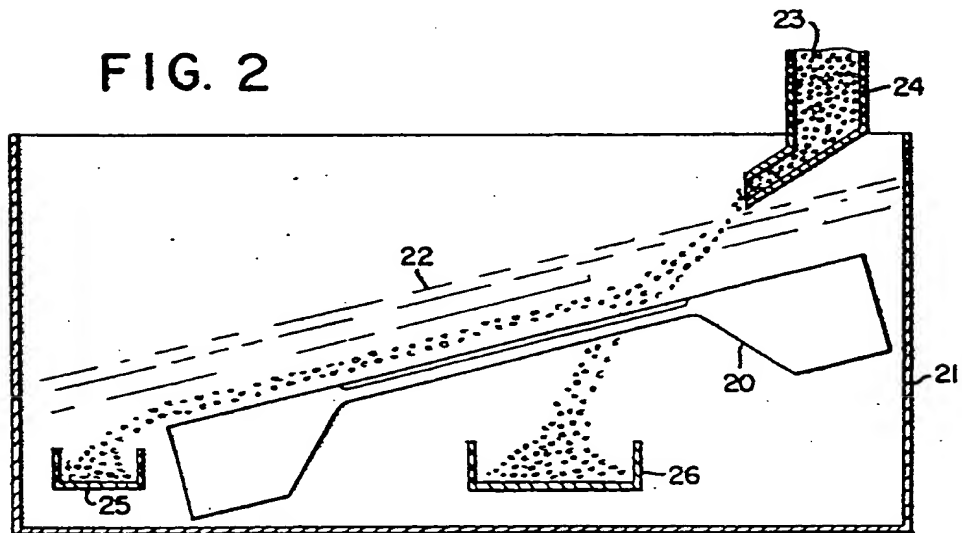


FIG. 2

FIG.4

